	<p>Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)</p>
---	--

ФАКУЛЬТЕТ «ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

КАФЕДРА «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭВМ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4 ПО
ДИСЦИПЛИНЕ:
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

***“ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ДИОДОВ В MULTISIM”***

Студент: **Зернов Георгий Павлович**

Группа: **ИУ7-34Б**

Вариант: **86**

Название предприятия: **НУК ИУ МГТУ им. Н. Э. Баумана**

Студент _____ **Зернов Г.П.**

Преподаватель _____ **Оглоблин Д.И.**

Оглавление

ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА	3
ХОД РАБОТЫ	4
Исследуемый диод	4
Создание схемы в программе Microcap	9
Получение резонансной частоты	9
Получение формулы зависимости резонансной частоты от напряжения на источнике	11
Анализ данных	12
Анализ полученных значений	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	13

ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА

Получение в программе схемотехнического анализа Multisim и исследование статических характеристик кремниевого полупроводникового диода с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов. Освоение программы Multisim для расчёта параметров модели полупроводниковых приборов на основе данных экспериментальных исследований.

ХОД РАБОТЫ

Исследуемый диод

В работе проводится исследование диода D2C139A.

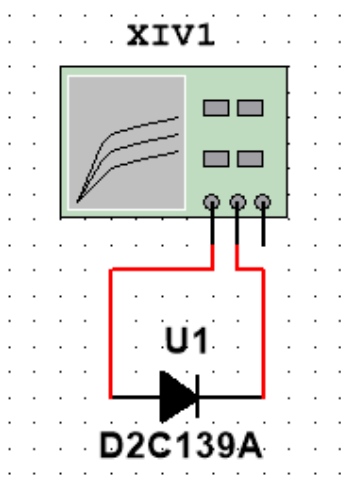
Характеристики диода из библиотеки:

```
.model D2C139A D(Is=31.47f Rs=9.494 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11 Cjo=220p M=.5959  
+      Vj=.75 Fc=.5 Isr=2.035n Nr=2 Bv=3.928 Ibv=43.84m  
*      Nbv=60 Ibv1=3m Nbv1=180  
+      Tbv1=-1.0m)
```

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА IV ANALYZER

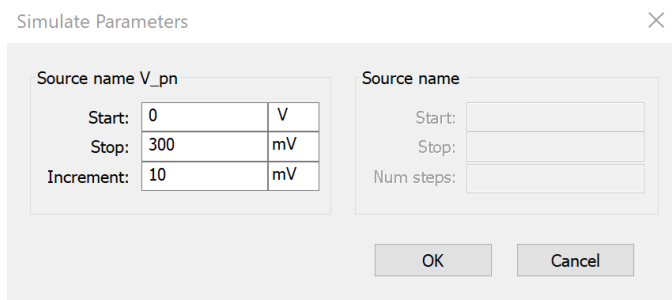
Создание схемы

Подключим исследуемый диод к прибору IV ANALYZER.

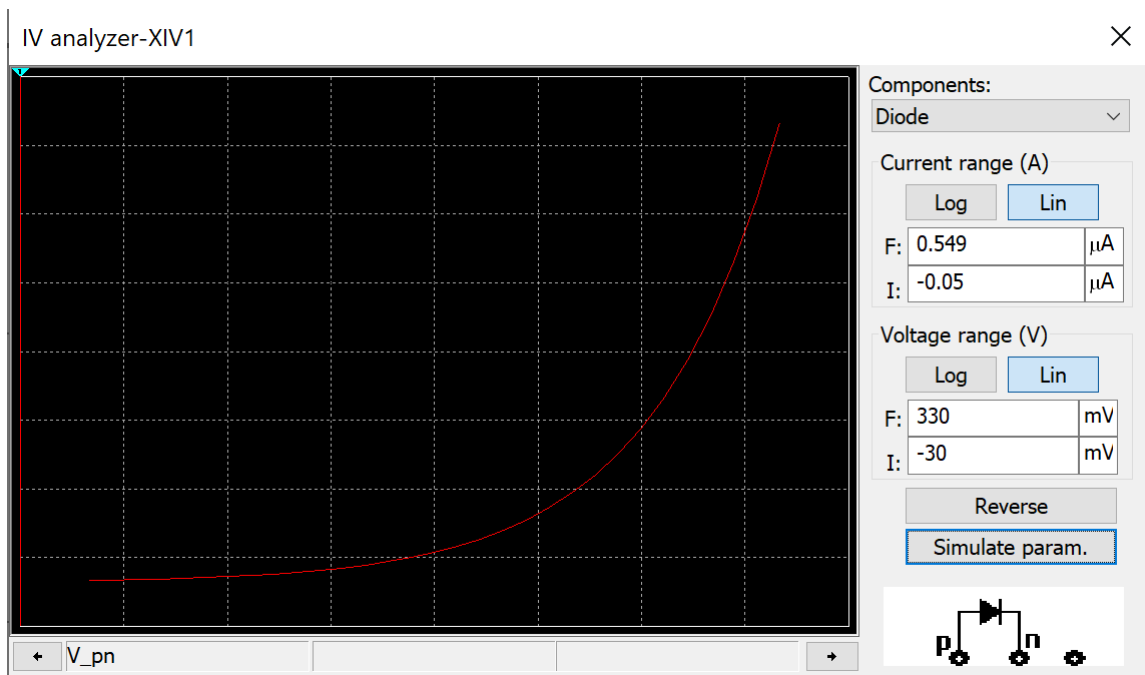


Получение ВАХ

Настроим диапазон значений для которых будут проводиться измерения. Для этого двойным нажатием на прибор откроем его меню и установим диапазон измерений.



Запустим симуляцию и получим ВАХ. Затем с помощью окна “Grapher View” и сформируем текстовый файл с результатами исследования.

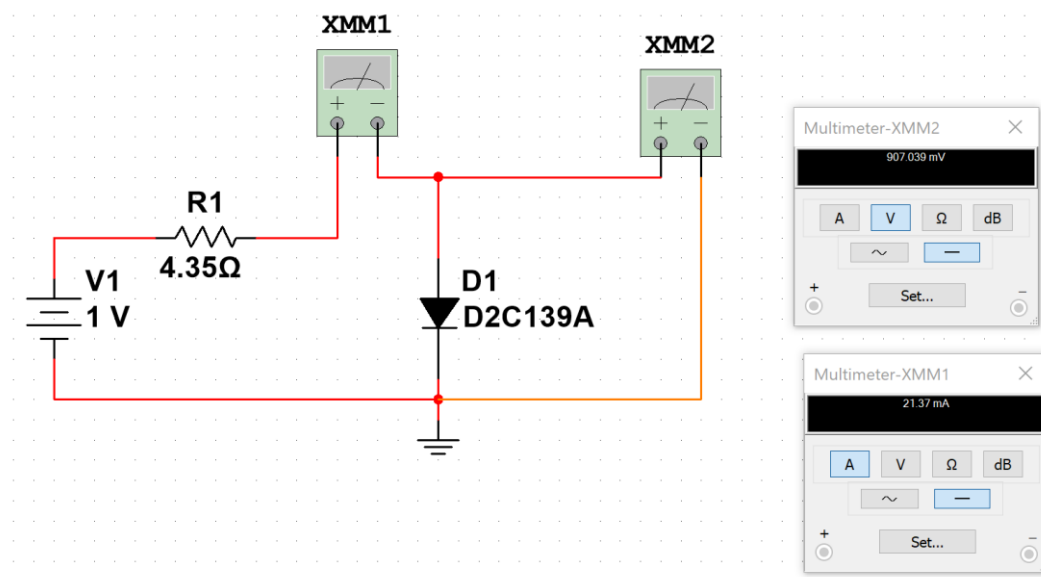


ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 30-70

Для проведения анализа ВАХ в данном диапазоне температур в меню Simulate/Analysis выберем Temperature sweep. В нём установим диапазон температур, линейное изменение и тип анализа – DC Operation Point. Для его проведения требуется определить рабочую точку диода.

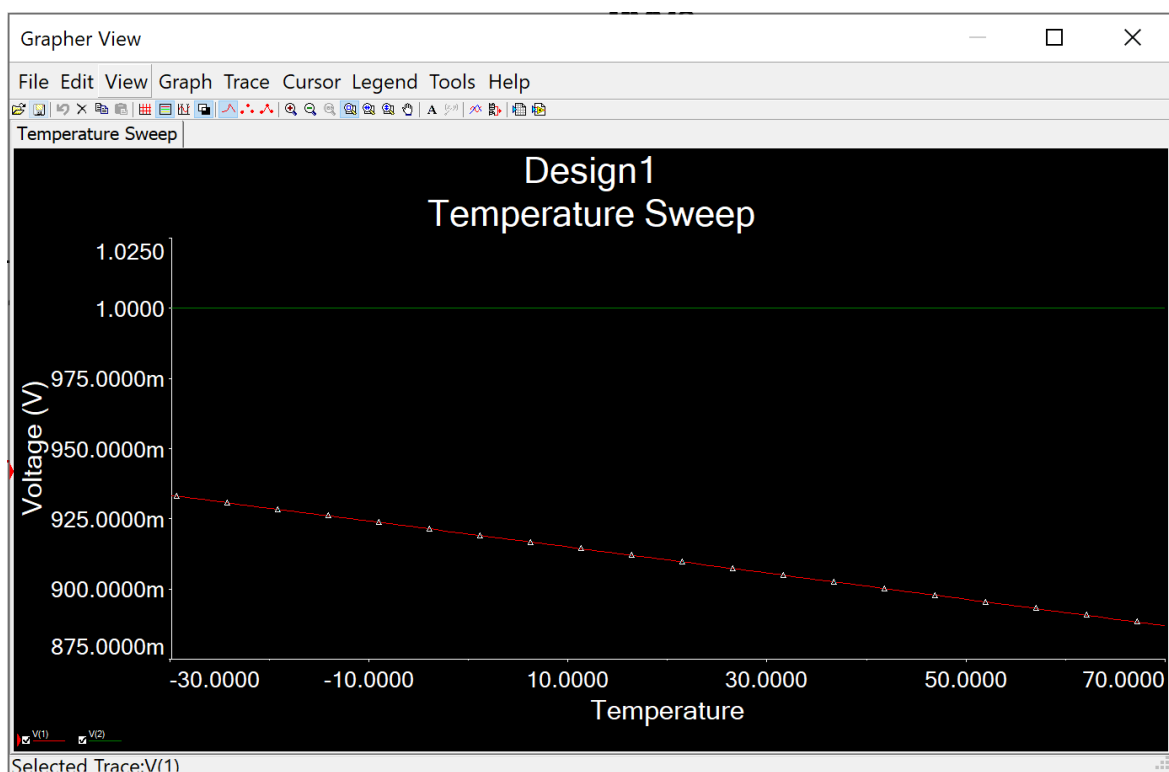
Определение рабочей точки диода

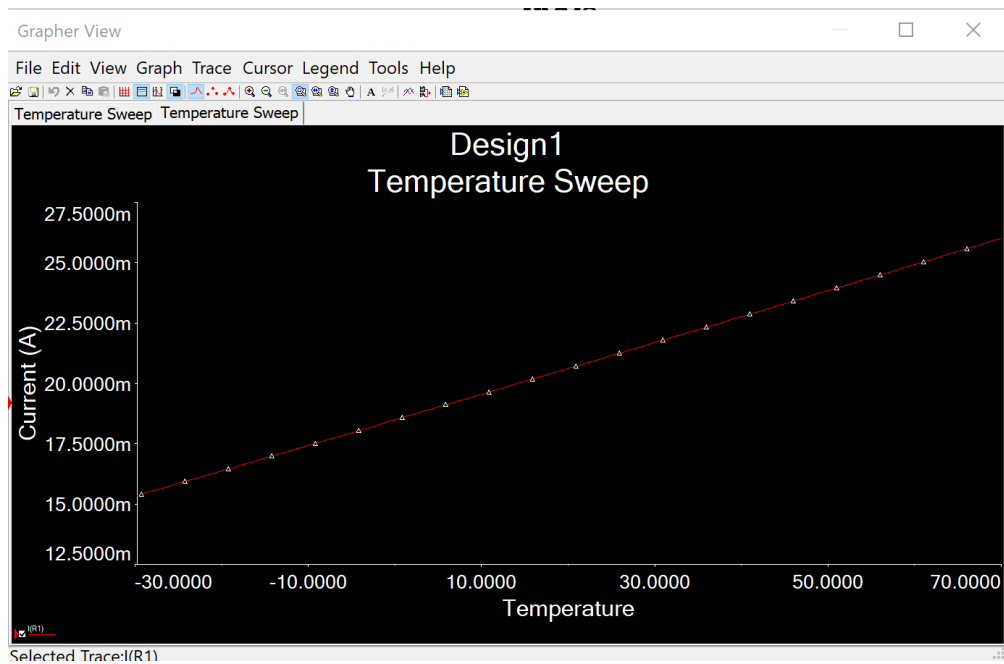
Для определения рабочей точки диода соберём схему. Напряжение и ток на мультиметрах будут рабочей точкой диода.



Для данной рабочей точки с помощью DC Operation Point построим графики зависимостей:

- зависимость V_1 , V_2 – напряжения на источнике и диоде от температуры в выбранной рабочей точке
- зависимость тока $I(R1)$, равного току диода, от температуры.





Анализ BAX

В программе MathCAD с помощью таблицы из первой симуляции рассчитаем параметры диода, и сравним полученный BAX с расчётным.

$VAX := \text{READPRN}("C:\Users\zemo\Desktop\Electronics\Lab_4\Design1.lvm")$

VAX =

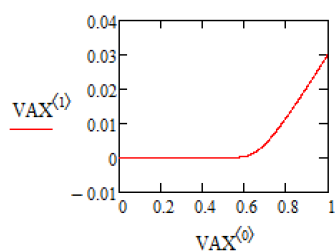
	0	1
0	0	0
1	$1 \cdot 10^{-3}$	$4.312 \cdot 10^{-11}$
2	$2 \cdot 10^{-3}$	$8.625 \cdot 10^{-11}$
3	$3 \cdot 10^{-3}$	$1.294 \cdot 10^{-10}$
4	$4 \cdot 10^{-3}$	$1.725 \cdot 10^{-10}$
5	$5 \cdot 10^{-3}$	$2.156 \cdot 10^{-10}$
6	$6 \cdot 10^{-3}$	$2.587 \cdot 10^{-10}$
7	$7 \cdot 10^{-3}$	$3.019 \cdot 10^{-10}$
8	$8 \cdot 10^{-3}$	$3.45 \cdot 10^{-10}$
9	$9 \cdot 10^{-3}$	$3.881 \cdot 10^{-10}$
10	0.01	$4.312 \cdot 10^{-10}$
11	0.011	$4.828 \cdot 10^{-10}$
12	0.012	$5.344 \cdot 10^{-10}$
13	0.013	$5.859 \cdot 10^{-10}$
14	0.014	$6.375 \cdot 10^{-10}$
15	0.015	...

$VAX^{(0)} =$

	0
0	0
1	$1 \cdot 10^{-3}$
2	$2 \cdot 10^{-3}$
3	$3 \cdot 10^{-3}$
4	$4 \cdot 10^{-3}$
5	$5 \cdot 10^{-3}$
6	$6 \cdot 10^{-3}$
7	$7 \cdot 10^{-3}$
8	$8 \cdot 10^{-3}$
9	$9 \cdot 10^{-3}$
10	0.01
11	0.011
12	0.012
13	0.013
14	0.014
15	...

$VAX^{(1)} =$

	0
0	0
1	$4.312 \cdot 10^{-11}$
2	$8.625 \cdot 10^{-11}$
3	$1.294 \cdot 10^{-10}$
4	$1.725 \cdot 10^{-10}$
5	$2.156 \cdot 10^{-10}$
6	$2.587 \cdot 10^{-10}$
7	$3.019 \cdot 10^{-10}$
8	$3.45 \cdot 10^{-10}$
9	$3.881 \cdot 10^{-10}$
10	$4.312 \cdot 10^{-10}$
11	$4.828 \cdot 10^{-10}$
12	$5.344 \cdot 10^{-10}$
13	$5.859 \cdot 10^{-10}$
14	$6.375 \cdot 10^{-10}$
15	...



$$\begin{aligned}
 U_{d1} &:= 0.629 & U_{d2} &:= 0.659 & U_{d3} &:= 0.719 & U_{d4} &:= 0.806 \\
 I_{d1} &:= 0.00093699 & I_{d2} &:= 0.0019543 & I_{d3} &:= 0.0053922 & I_{d4} &:= 0.012265 \\
 R_{b_d} &:= 1 & I_{s0} &:= 0.0000001 & m &:= 2 & F_t &:= 0.02
 \end{aligned}$$

Given

$$U_{d1} = I_{d1} \cdot R_{b_d} + \ln \left[\frac{(I_{s0} + I_{d1})}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$$

$$U_{d2} = I_{d2} \cdot R_{b_d} + \ln \left[\frac{(I_{s0} + I_{d2})}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$$

$$U_{d3} = I_{d3} \cdot R_{b_d} + \ln \left[\frac{(I_{s0} + I_{d3})}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$$

$$U_{d4} = I_{d4} \cdot R_{b_d} + \ln \left[\frac{(I_{s0} + I_{d4})}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$$

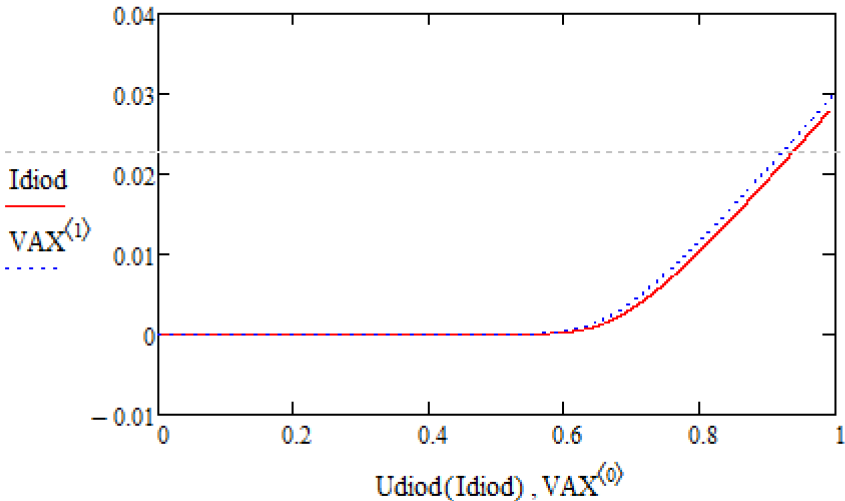
$$Diod_P := Minerr(R_{b_d}, I_{s0}, m, F_t)$$

$$Diod_P = \begin{pmatrix} 9.337 \\ 1.721 \times 10^{-13} \\ 1.665 \\ 0.017 \end{pmatrix}$$

$$R_{b_diod} := 9.337 \qquad I_{s0_diod} := 1.721 \times 10^{-13} \qquad m_diod := 1.665 \qquad F_t_diod := 0.017$$

$$I_{diod} := 0, 10^{-5} .. 0.028$$

$$U_{diod}(I_{diod}) := I_{diod} \cdot R_{b_diod} + m_diod \cdot F_t_diod \cdot \ln \left(\frac{I_{diod} + I_{s0_diod}}{I_{s0_diod}} \right)$$



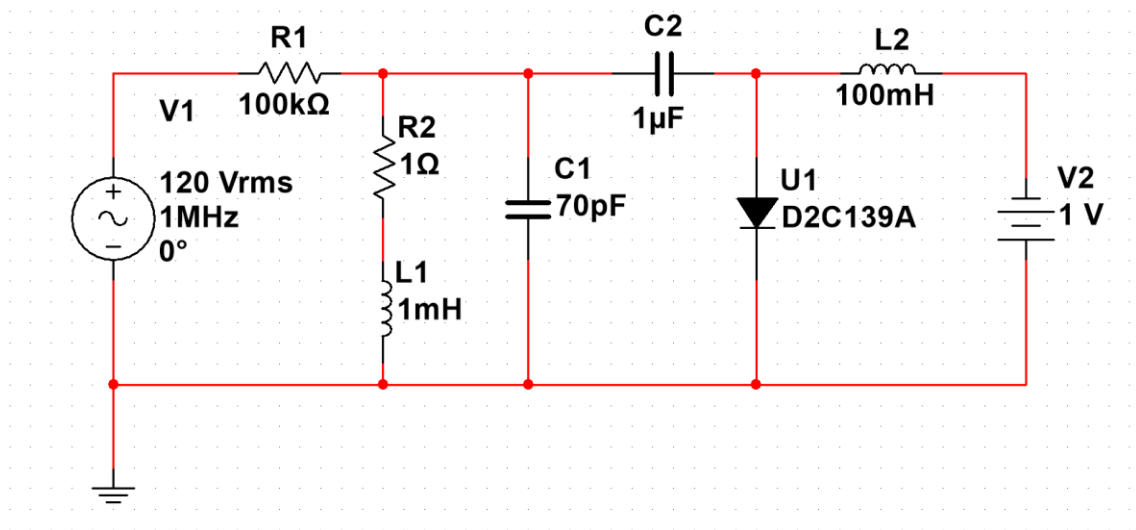
Idiod =
0
1·10 ⁻⁵
2·10 ⁻⁵
3·10 ⁻⁵
4·10 ⁻⁵
5·10 ⁻⁵
6·10 ⁻⁵
7·10 ⁻⁵
8·10 ⁻⁵
9·10 ⁻⁵
1·10 ⁻⁴
1.1·10 ⁻⁴
1.2·10 ⁻⁴
1.3·10 ⁻⁴
1.4·10 ⁻⁴
...

Анализ полученных значений

Заметим, что исходный и расчётный ВАХ близки, а значит принятую модель можно считать достаточно точной.

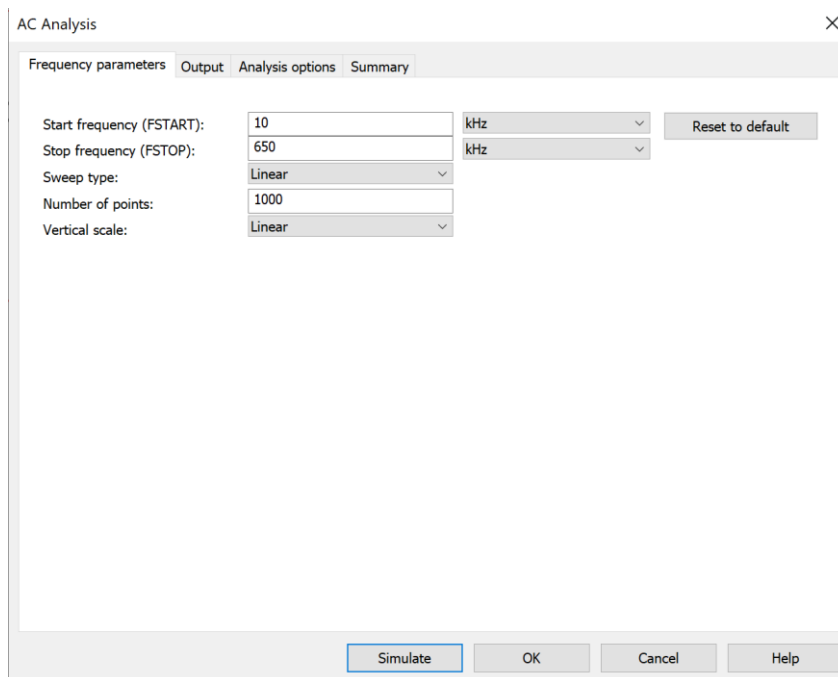
Создание схемы в программе Multisim

Диод, включенный в обратном направлении, постоянный ток не пропускает и представляет собой емкость, управляемую напряжением V2. Измерить эту емкость можно косвенно, измеряя частоту известного контура с подключенной емкостью диода и пересчитывая частоту в дополнительную емкость. Для этого в программе Microcap создадим приведённую ниже цепь для измерения резонансной частоты:

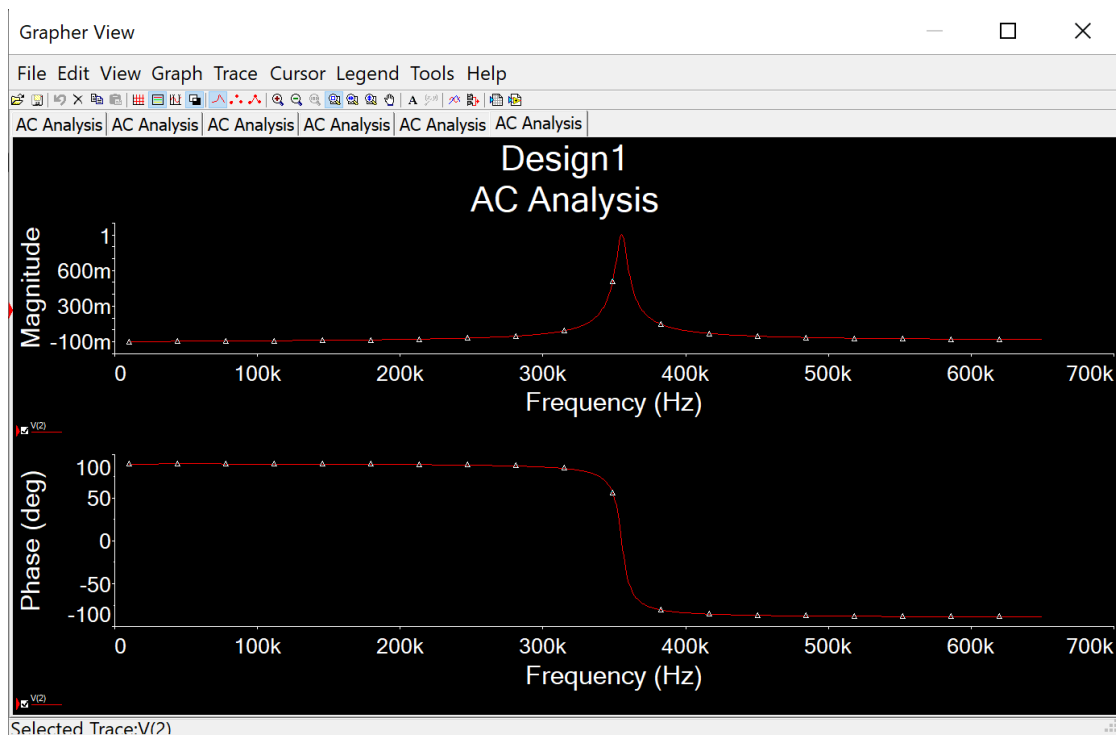


Получение резонансной частоты

Для точного нахождения резонансной частоты проведём анализ по переменному току (AC Analysis). Выберем диапазон частот от 650кГц до 10кГц. В дальнейшем если резонансная частота не попадёт в данный диапазон его можно будет скорректировать. Выставим необходимые значения на панели “AC Analysis”:

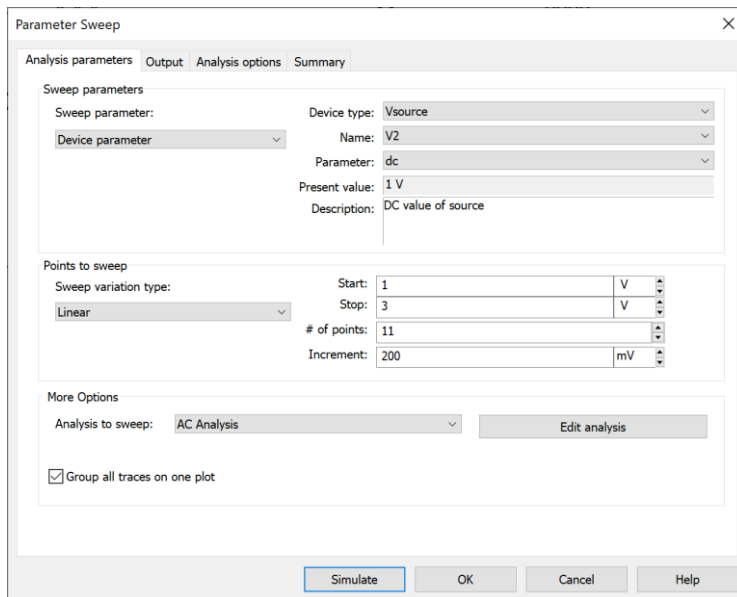


Затем запустим симуляцию и построим резонансную кривую:

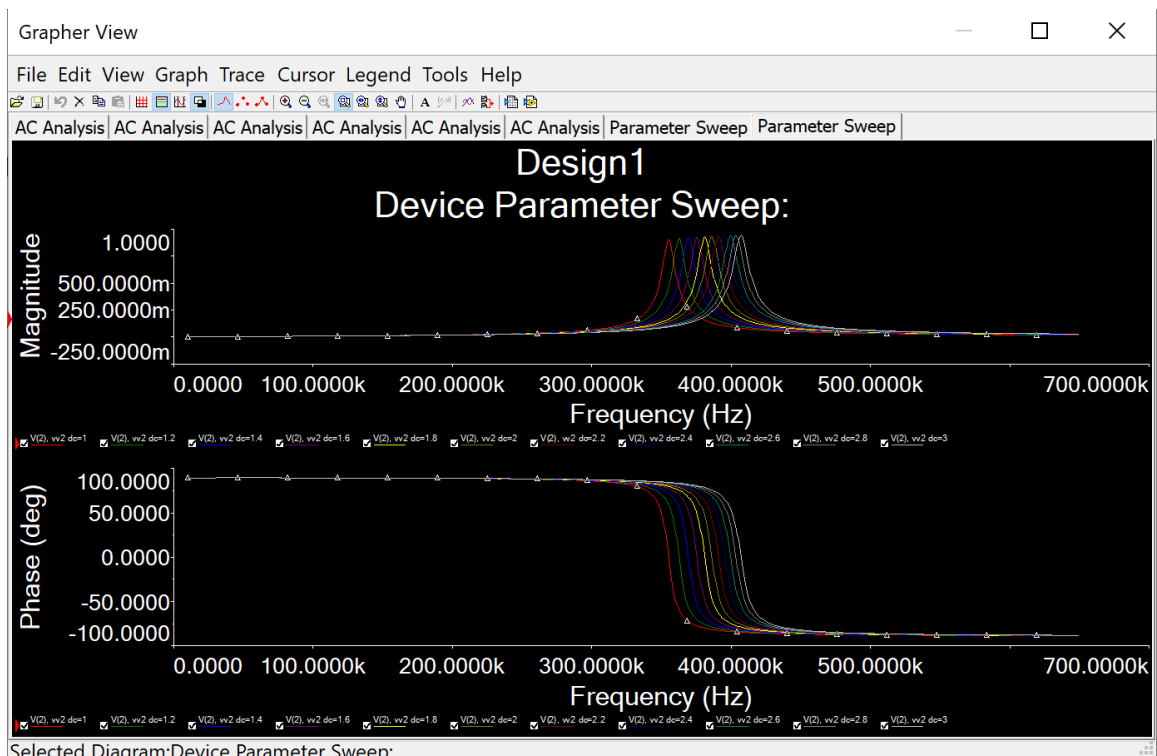


Получение формулы зависимости резонансной частоты от напряжения на источнике

Изменяя значение напряжения V2, можно получить зависимость значения резонансной частоты от него. Для этого включим многовариантный режим анализа на панели “Parameter sweep”, так чтобы для каждого из значений напряжения была построена резонансная кривая:

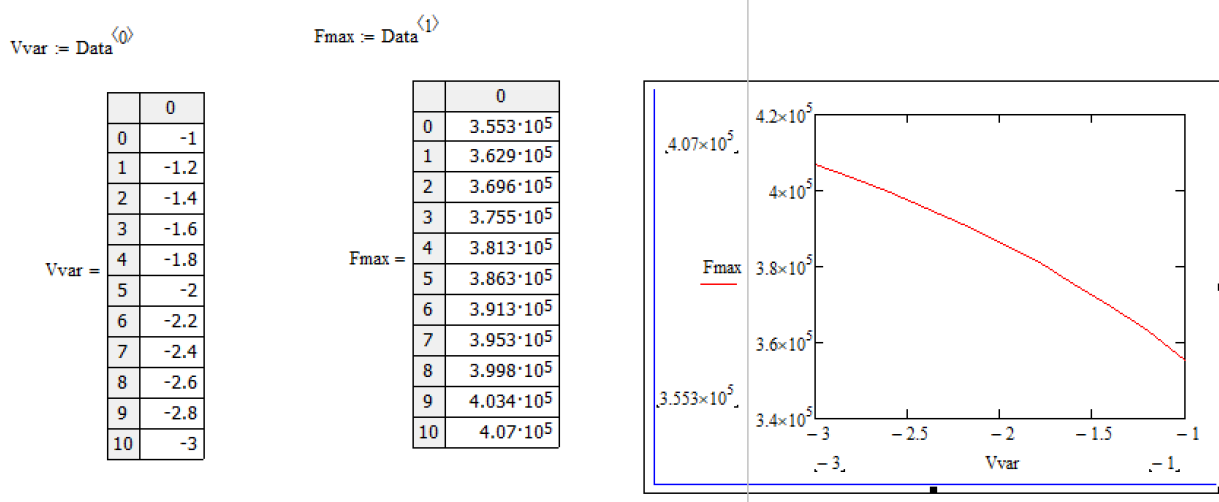


Получим резонансные кривые:



Анализ данных

Полученные показания импортируем в программу Mathcad в таблицу Data. В Vvar запишем значения напряжения, в то время как в Fmax запишем значения частоты. Построим график зависимости Fmax(Vvar):



Из формулы Томпсона резонансная частота контура:

$$Fr := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(Ck + Cd) \cdot Lk}}$$

Где Ck – ёмкость конденсатора (C1), Cd – ёмкость диода, а Lk – известная индуктивность (L1).

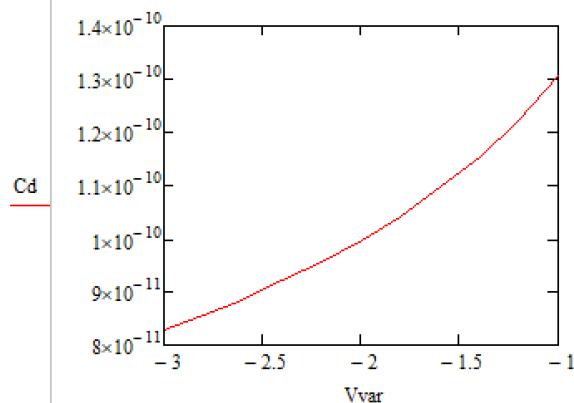
Проведём расчёт ёмкости диода для всех значений напряжения и построим график:

$$Ck := 70 \cdot 10^{-12} \quad Lk := 10^{-3} \quad \pi := 3.14159$$

$$Cd := \frac{Ck \cdot Lk - \frac{1}{(4 \cdot Fmax^2 \cdot \pi^2)}}{Lk}$$

Cd =

	0
0	$1.307 \cdot 10^{-10}$
1	$1.223 \cdot 10^{-10}$
2	$1.154 \cdot 10^{-10}$
3	$1.096 \cdot 10^{-10}$
4	$1.042 \cdot 10^{-10}$
5	$9.974 \cdot 10^{-11}$
6	$9.547 \cdot 10^{-11}$
7	$9.21 \cdot 10^{-11}$
8	$8.847 \cdot 10^{-11}$
9	$8.566 \cdot 10^{-11}$
10	$8.292 \cdot 10^{-11}$



С помощью метода Given-Minerr получим барьерную ёмкость, контактную разность потенциалов диода и коэффициент плавности p-n перехода:

$CJ0 := 10^{-12}$	$VJ0 := 0.6$	$M := 0.5$	
Given			
$Cd_0 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_0}{VJ0}\right)^{-M}$			
$Cd_5 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_5}{VJ0}\right)^{-M}$			+
$Cd_{10} = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_{10}}{VJ0}\right)^{-M}$			
			Minerr(CJ0, VJ0, M) = $\begin{pmatrix} 2.184 \times 10^{-10} \\ 0.722 \\ 0.59 \end{pmatrix}$

Анализ полученных значений

Сравним значения с данными в библиотеки диодов.

- $Cj0$: 218пФ, табличное значение 220пФ
- Vj : 0.722В, табличное значение 0.75В
- M : 0.59, табличное значение 0.5959

Так как полученные значения находятся от табличных в пределах погрешности, то метод по результатам проведённого можно считать достаточно точным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были выполнены все задачи, описанные выше, таким образом были получены и проанализированы характеристики полупроводникового диода.